



本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

COPY OF PAPERS  
ORIGINALLY FILED

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月 2日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-027273

[ST.10/C]:

[J.P.2001-027273]

出 願 人

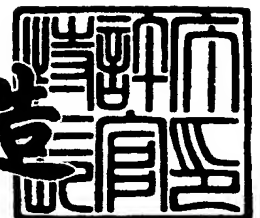
Applicant(s):

日本電信電話株式会社

2002年 3月22日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3019982

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH126156

【提出日】 平成13年 2月 2日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/35  
H04B 10/00

【発明の名称】 光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システム

【請求項の数】 29

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 増田 浩次

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 森 淳

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 清水 誠

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077481

【弁理士】

【氏名又は名称】 谷 義一

【選任した代理人】

【識別番号】 100088915

【弁理士】

【氏名又は名称】 阿部 和夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013424

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701393

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する 2 つのレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第 1 の合波器と、該第 1 の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第 2 の合波器とを有し、前記 2 つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が 1 2 5 ～ 2 9 0 カイザーであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 2】 テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する 3 つ以上のレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第 1 の合波器と、該第 1 の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第 2 の合波器とを有し、前記 3 つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない 2 つの波長群に分け、それらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が 1 2 5 ～ 2 9 0 カイザーであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 3】 テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する 2 つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する 2 つの合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 4】 前記 2 つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が 4 2 ～ 1 6 6 カイザーであることを特徴とする請求項 3 に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項 5】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項 6】 テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する 2 つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第 1 の合波器と、該第 1 の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第 2 の合波器とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 7】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とする請求項 6 に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項 8】 前記テルライトファイバとシリカファイバの間に、前記異な

る波長の2つの励起光のうちのいずれか一方を反射する反射素子を有することを特徴とする請求項7に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項9】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とする請求項6，7又は8に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項10】 複数のテルライトファイバと、複数のシリカファイバを有する光ファイバ増幅器であって、それらのテルライトファイバとシリカファイバが互いに隣接するように配置され、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項11】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して最も前段に設置されていることを特徴とする請求項10に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項12】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とする請求項10又は11に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項13】 前記信号光の出力段に利得等化器を設置したことを特徴とする請求項1又は2に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項14】 2個のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項15】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とする請求項14に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項16】 2個以上のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する3つ以上のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、前記3つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない2つの波長群に分け、そ

これらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項17】 テルライトファイバと、エルビウム添加ファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項18】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とする請求項17に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項19】 エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起するレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その励起光の波長が1410～1440nmであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項20】 エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起する、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その第1の励起光の波長が1410～1440nmであり、第2の励起光の波長が1450～1500nmであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項21】 前記エルビウム添加濃度が1000重量ppm以下であることを特徴とする請求項19又は20に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項22】 テルライトファイバと、そのテルライトファイバを励起する第1のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、ツリウム添加ファイバと、該ツリウム添加ファイバを励起する第2のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第2の合波器と、テルライトファイバから出射した信号光をその波長に応じて分波する分波器と、該分波器で分波された後、ツリウム添加ファイバで増幅された信号光と、ツリウム添加ファイバを通過しない別ルートの信号光を合波する第3の合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項23】 前記第1のレーザ光源の励起光波長が1310～1480であることを特徴とする請求項22に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項24】 前記分波器と第3の合波器の間で、ツリウム添加ファイバ

を通過しないルート中に設置したシリカファイバと、該シリカファイバを励起する第3のレーザ光源と、そのレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第4の合波器を有することを特徴とする請求項22又は23に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項25】 前記第3のレーザ光源の励起光波長が1380～1550であることを特徴とする請求項24に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項26】 前記シリカファイバまたはテルライトファイバの少なくとも一方が分散補償ファイバであることを特徴とする請求項1乃至25いずれかに記載の光ファイバ増幅器。

【請求項27】 1個のテルライトファイバと、シリカファイバから成る1区間の伝送線路と、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する2つの合波器を有する1つの中継器を含む伝送線路区間を、少なくとも1区間以上有することを特徴とする光通信システム。

【請求項28】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とする請求項27に記載の光通信システム。

【請求項29】 前記テルライトファイバが分散補償ファイバであることを特徴とする請求項27又は28に記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

波長多重の光ファイバ通信システム（WDMシステム）で用いられる、従来技術のラマン増幅器の構成を図1に示す。このラマン増幅器については、H.Masuda et al., Tech. Dig. of ECOC, pp. 139-140, 1998、あるいは特願平11-288337号に記載されている。この光増幅器は、入力した波長多重の信号光を増

幅している。このラマン増幅器は、利得媒質である光ファイバ 5 1 と、それを光励起する励起光源 5 3 と、その励起光源からの励起光と信号光を合波する合波器 5 2 を有する。光ファイバは、おもに高開口数 (NA) のシリカファイバまたはテルライトファイバである。ただし、通常光ファイバの前後に設置するアイソレータなどの自明な光部品は、簡単のため図 1 において省略してある。

#### 【0003】

図 1 では、より多くの場合に採用される、信号光と励起光の伝搬方向が逆となる配置、すなわち後方向励起で励起しているが、前方向励起であっても以下に述べることが同様に成り立つ。励起光源からの励起光の波長は、単数でも複数でもよい。ただし、複数波長励起のほうが一般に広帯域である。単一波長励起における平坦利得帯域は、シリカファイバを用いたラマン増幅器（以下、シリカラマン増幅器という）で高々 20 nm、テルライトファイバを用いたラマン増幅器（以下、テルライトラマン増幅器という）で高々 30 nm であった。

#### 【0004】

##### 【発明が解決しようとする課題】

このような従来例では、シリカラマン増幅器では、10 数波長までの多波長励起を用いて利得スペクトル平坦化・広帯域化を行って 100 nm までの平坦利得帯域を得ている (Y. Emori et al., Proc. of OFC, PD19, 1998)。この帯域はシリカファイバの物理特性により制限されている。また、テルライトラマン増幅器では、利得ピーク波長付近で複数励起光波長により広帯域化を行っているが、その広帯域化は利得ピーク波長付近の 60 nm 程度に限られている。このように、従来例では利得帯域が制限されているという欠点が生じている。

#### 【0005】

テルライトラマン増幅器の利得係数スペクトルを図 2 (a) に示す。合わせてシリカライト増幅器の利得係数スペクトルを図 2 (b) に示す。ここで、横軸は信号光波長と励起光波長の差を表す。ラマン増幅器の利得 (on-off 利得) の dB 単位値は、一定の励起光パワーにおいて、その利得係数に比例する。また、その利得は励起光パワーに比例する。図 2 (a) の利得係数スペクトルを見ると、170 nm および 90 nm 付近にピークがあり、波長差 = 120 nm 付近に



くぼみがある。一方、従来技術において良く知られたシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルは、100nm付近に単一のピークを有する。

#### 【0006】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、複数の利得スペクトルを組み合わせて重ね合わせることにより、広帯域で平坦な利得スペクトルを実現するようにした光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システムを提供することにある。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は、このような目的を達成するために、以下の4種類の構成を備えている。第1の種類は、テルライトファイバを2波長で励起し、その励起光の波長がある一定量だけ異なるラマン増幅器であることを主な特徴とするものである。また、第2の種類は、テルライトファイバとシリカファイバを用いたラマン増幅器または光通信システムであることを主な特徴とするものである。第3の種類は、低濃度のエルビウム添加テルライトファイバと用いた光ファイバ増幅器であることを主な特徴とするものである。さらに、第4の種類は、エルビウム添加ファイバ等の希土類添加ファイバとテルライトファイバを用いた光ファイバ増幅器であることを主な特徴とするものである。

#### 【0008】

請求項1に記載の発明は、テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器とを有し、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とするもので、図3に示した第1の実施例に対応するものである。

#### 【0009】

請求項2に記載の発明は、テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する3つ以上のレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合

波器とを有し、前記 3 つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない 2 つの波長群に分け、それらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が 1 2 5 ~ 2 9 0 カイザーであることを特徴とするもので、図 3 に示した第 1 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 1 0 】

請求項 3 に記載の発明は、テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する 2 つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する 2 つの合波器を有することを特徴とするもので、図 4 に示した第 2 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 1 1 】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 3 に記載の発明において、前記 2 つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が 4 2 ~ 1 6 6 カイザーであることを特徴とするもので、図 4 に示した第 2 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 1 2 】

請求項 5 に記載の発明は、請求項 3 又は 4 に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とするもので、図 4 に示した第 2 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 1 3 】

請求項 6 に記載の発明は、テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する 2 つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第 1 の合波器と、該第 1 の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第 2 の合波器とを有することを特徴とするもので、図 7 に示した第 4 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 1 4 】

請求項 7 に記載の発明は、請求項 6 に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とするもので、図 7 に示した第 4 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 1 5 】

請求項 8 に記載の発明は、請求項 7 に記載の発明において、前記テルライトフ

アイバとシリカファイバの間に、前記異なる波長の2つの励起光のうちのいずれか一方を反射する反射素子を有することを特徴とするもので、図6に示した第3の実施例に対応するものである。

## 【0016】

請求項9に記載の発明は、請求項6、7又は8に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とするものである。

## 【0017】

請求項10に記載の発明は、複数のテルライトファイバと、複数のシリカファイバを有する光ファイバ増幅器であって、それらのテルライトファイバとシリカファイバが互いに隣接するように配置され、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器を有することを特徴とするもので、図8に示した第5の実施例に対応するものである。

## 【0018】

請求項11に記載の発明は、請求項10に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して最も前段に設置されていることを特徴とするもので、図8に示した第5の実施例に対応するものである。

## 【0019】

請求項12に記載の発明は、請求項10又は11に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とするものである。

## 【0020】

請求項13に記載の発明は、請求項1又は2に記載の発明において、前記信号光の出力段に利得等化器を設置したことを特徴とするものである。

## 【0021】

請求項14に記載の発明は、2個のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する2つ

のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とするもので、図 1 0 に示した第 7 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 2 】

請求項 1 5 に記載の発明は、請求項 1 4 に記載の発明において、前記 2 つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が 1 2 5 ～ 2 9 0 カイザーであることを特徴とするもので、図 1 0 に示した第 7 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 3 】

請求項 1 6 に記載の発明は、2 個以上のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する 3 つ以上のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、前記 3 つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない 2 つの波長群に分け、それらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が 1 2 5 ～ 2 9 0 カイザーであることを特徴とするもので、図 1 0 に示した第 7 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 4 】

請求項 1 7 に記載の発明は、テルライトファイバと、エルビウム添加ファイバと、互いに異なる励起光波長を有する 2 つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とするもので、図 1 1 に示した第 8 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 . 5 】

請求項 1 8 に記載の発明は、請求項 1 7 に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とするもので、図 1 1 に示した第 8 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 6 】

請求項 1 9 に記載の発明は、エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起するレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その励起光の波長が 1 4 1 0 ～ 1 4 4 0 nm であることを特徴とするもので、図 1 2 に示した第 9 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 7 】

請求項 2 0 に記載の発明は、エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起する、互いに異なる励起光波長を有する 2 つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その第 1 の励起光の波長が 1 4 1 0 ～ 1 4 4 0 n m であり、第 2 の励起光の波長が 1 4 5 0 ～ 1 5 0 0 n m であることを特徴とするもので、図 1 2 に示した第 9 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 8 】

請求項 2 1 に記載の発明は、請求項 1 9 又は 2 0 に記載の発明において、前記エルビウム添加濃度が 1 0 0 0 重量 p p m 以下であることを特徴とするもので、図 1 2 に示した第 9 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 2 9 】

請求項 2 2 に記載の発明は、テルライトファイバと、そのテルライトファイバを励起する第 1 のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第 1 の合波器と、ツリウム添加ファイバと、該ツリウム添加ファイバを励起する第 2 のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第 2 の合波器と、テルライトファイバから出射した信号光をその波長に応じて分波する分波器と、該分波器で分波された後、ツリウム添加ファイバで増幅された信号光と、ツリウム添加ファイバを通過しない別ルート of 信号光を合波する第 3 の合波器を有することを特徴とするもので、図 1 3 に示した第 1 0 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 3 0 】

請求項 2 3 に記載の発明は、請求項 2 2 に記載の発明において、前記第 1 のレーザ光源の励起光波長が 1 3 1 0 ～ 1 4 8 0 であることを特徴とするもので、図 1 3 に示した第 1 0 の実施例に対応するものである。

## 【 0 0 3 1 】

請求項 2 4 に記載の発明は、請求項 2 2 又は 2 3 に記載の発明において、前記分波器と第 3 の合波器の間で、ツリウム添加ファイバを通過しないルート中に設置したシリカファイバと、該シリカファイバを励起する第 3 のレーザ光源と、そ

のレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第4の合波器を有することを特徴とするもので、図14に示した第11の実施例に対応するものである。

【0032】

請求項25に記載の発明は、請求項24に記載の発明において、前記第3のレーザ光源の励起光波長が1380～1550であることを特徴とするものである。

【0033】

請求項26に記載の発明は、請求項1乃至25いずれかに記載の発明において、前記シリカファイバまたはテルライトファイバの少なくとも一方が分散補償ファイバであることを特徴とするものである。

【0034】

請求項27に記載の発明は、1個のテルライトファイバと、シリカファイバから成る1区間の伝送線路と、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する2つの合波器を有する1つの中継器を含む伝送線路区間を、少なくとも1区間以上有することを特徴とするもので、図9に示した第6の実施例に対応するものである。

【0035】

請求項28に記載の発明は、請求項27に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とするもので、図9に示した第6の実施例に対応するものである。

【0036】

請求項29に記載の発明は、請求項27又は28に記載の発明において、前記テルライトファイバが分散補償ファイバであることを特徴とするものである。

【0037】

このような構成のように、複数波長の励起光と複数種の光ファイバ増幅媒体とを次の4種類、つまり、1)テルライトファイバを2波長で励起する、2)テルライトファイバとシリカファイバをそれぞれ異なる波長で励起する、3)Erを低濃度に添加したテルライトファイバを1つ又は2つの波長で励起する、4)テルライトファイバとTm添加ファイバを異なる波長で励起する、を組み合わせるこ

とのより光ファイバ増幅器を構成したので、異なる利得スペクトルの合成により利得帯域幅が拡大されるという効果を奏する。また、従来技術のラマン増幅器で問題であった利得帯域が制限されているという欠点を解決することができる。

#### 【 0 0 3 8 】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

##### 〔第 1 実施例〕

図 3 は、本発明の第 1 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、利得媒質である光ファイバはテルライトファイバ 1 である。励起光源 3 は 2 つのレーザモジュール 5 a, 5 b と 1 つの合波器 4 を有する。そのレーザモジュール 5 a, 5 b は半導体レーザモジュール (LDM) またはラマンレーザなどであるが、特に、LDM は小型・高信頼・長寿命である等の理由でより実用的であるので、本実施例を含む以下の実施例ではレーザモジュールが LDM を示す。ただし、明らかに LDM 以外のレーザモジュールを用いても同じ効果がある。2 つの LDM 5 a, 5 b を LDM-1 および-2 とし、それらの励起光波長をそれぞれ  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  とする。

#### 【 0 0 3 9 】

図 2 (a) に示した利得係数スペクトルより、 $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  の差を約 50 nm に設定すると、 $\lambda_1$  の励起光による利得スペクトル成分と、 $\lambda_2$  の励起光による利得スペクトル成分を合成することにより、利得ピークとくぼみの合成により、平坦化された利得スペクトルが得られる。

#### 【 0 0 4 0 】

図 4 (a) は、 $\lambda_1 = 1460 \text{ nm}$  および  $\lambda_2 = 1410 \text{ nm}$  としたときの利得 (dB 単位の相対値) スペクトルを示した図で、約 1500 nm - 約 1650 nm の約 150 nm の範囲 (平坦利得帯域) で平坦化された利得スペクトルが得られている。一方、従来技術では、平坦利得帯域は約 60 nm であったから、平坦利得帯域が顕著に拡大している。図 4 (b) は、 $\lambda_1 = 1460 \text{ nm}$  および  $\lambda_2 = 1420 \text{ nm}$  としたときの利得 (dB 単位の相対値) スペクトルを示した図で、やはり約 1500 nm - 約 1650 nm の約 150 nm の範囲 (平坦利得帯

域)で平坦化された利得スペクトルが得られている。

#### 【0041】

同様にして、平坦利得帯域の拡大が達成できる励起光波長は、 $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  の差を  $30\text{ nm} - 70\text{ nm}$  としたときである。また、その波長差に対応した2つの励起光の波数差は約  $125 - 290\text{ cm}^{-1}$  (カイザー) である。

#### 【0042】

ただし、励起光波長数は必ずしも2である必要はなく、3以上であっても、実質的に上記と同じ励起波長配置とみなされるものであればよい。例えば、励起光波長およびパワーが、それぞれ、 $1460\text{ nm}$ ,  $20\text{ mW}$ ;  $1450\text{ nm}$ ,  $50\text{ mW}$ ;  $1410\text{ nm}$ ,  $200\text{ mW}$ ;  $1400\text{ nm}$ ,  $50\text{ mW}$ 、のようにあきらかに4波長であっても、 $1460\text{ nm}$ ,  $200\text{ mW}$ ;  $1450\text{ nm}$ ,  $50\text{ mW}$ の2波長の波長重心( $1460\text{ nm}$ に近い波長)と、 $1410\text{ nm}$ ,  $200\text{ mW}$ ;  $1400\text{ nm}$ ,  $50\text{ mW}$ の2波長の波長重心( $1410\text{ nm}$ に近い波長)は  $50\text{ nm}$  離れているので、上述した第1の2波長励起の構成と等価である。

#### 【0043】

これを定量的に述べると、第1の波長群を  $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{12}$ ,  $\lambda_{13}$ , ..., 第2の波長群を  $\lambda_{21}$ ,  $\lambda_{22}$ ,  $\lambda_{23}$ , ..., ( $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{12}$ ,  $\lambda_{13}$ , ...  $>$   $\lambda_{21}$ ,  $\lambda_{22}$ ,  $\lambda_{23}$ , ...)、第1の波長群の重心波長を  $\lambda_{1c}$ 、第2の波長群の重心波長を  $\lambda_{2c}$ 、としたとき、 $\lambda_{1c}$  および  $\lambda_{2c}$  の差が  $30\text{ nm} - 70\text{ nm}$  であればよい。また、重心波長  $\lambda_c$  の定義は、 $n$  波長 ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$ ) の波長群のパワーがそれぞれ  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , ...,  $P_n$  のとき

$$\lambda_c = (\lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 + \lambda_3 P_3 + \dots + \lambda_n P_n) / (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)$$

である。

#### 【0044】

##### [第2実施例]

図5は、本発明の第2実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、利得媒質である光ファイバはテルライトファイバ1およびシリカファイバ11である。そのシリカファイバの最適なファイバパラメータは、高速(例えば  $10\text{ Gbit/s}$ )



）の光通信システムで用いられる分散補償ファイバ（DCF）に類似しているため、そのDCFを兼用できる。また、同様にテルライトファイバ1を分散補償ファイバとして兼用することもできる。テルライトファイバ1とシリカファイバ11は、それぞれ異なる波長の励起光源5a, 5b（LDM-1およびLDM-2）で励起されている。LDM-1およびLDM-2の励起光波長はそれぞれ $\lambda_1$ および $\lambda_2$ である。なお、符号2a, 2bは合波器である。

## 【0045】

図2のテルライトラマン増幅器およびシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルを考慮して、 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ の差が、 $\lambda_2 - \lambda_1 = 25 \pm 15 \text{ nm}$ 、すなわち、 $10 \text{ nm} < \lambda_2 - \lambda_1 < 40 \text{ nm}$ 、であるようにする。また、その波長差に対応した2つの励起光の波数差は約 $42 - 166 \text{ cm}^{-1}$ （カイザー）である。このとき、テルライトラマン増幅器の利得スペクトルの窪みをシリカラマン増幅器の山が補償するため、広い波長域で平坦なスペクトルが得られる。数値例としては、 $\lambda_1 = 1450 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1475 \text{ nm}$ 、である。このとき、波長域 $1460 \sim 1620 \text{ nm}$ で平坦なスペクトルが得られる。

## 【0046】

また、雑音指数の大小が問題にならない場合には、テルライトファイバとシリカファイバの順番は任意でよい。しかし、そうでない場合には、一般にテルライトファイバを前段に配置した方が雑音指数が低い。これは、テルライトファイバにおけるラマン利得は上記波長域 $1460 \sim 1620 \text{ nm}$ である程度の値を有するが、シリカファイバにおけるラマン利得は $\lambda_2 + 130 \text{ nm}$ 程度に限られるためである。その結果、シリカファイバを前段に配置した場合、約 $\lambda_2 + 130 \text{ nm}$ より長波長域で、シリカファイバの損失による雑音指数の劣化（増加）が生じる。

## 【0047】

## 〔第3実施例〕

図6は、本発明の第3実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第2実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。ただし、同じ点は簡単のため省略する。第2実施例では励起光源を2箇所に配置したが、本第3実施例で

は 1 箇所 に 励起光源 3 として 配置 し、 2 波 長 の 励起 光 を 合波 器 4 で 合波 し て い る。 波 長 配 置 は 第 2 実 施 例 と 同 じ で あ る。 励起 光 源 か ら の 2 波 長 の 励起 光 は、 ま ず シリカファイバ 1 1 を 励起 し た 後、 シリカファイバ 1 1 で 損 失 を 受 け な か っ た 分 が シリカファイバ 1 1 か ら 出 射 す る。

## 【 0 0 4 8 】

波 長  $\lambda 2$  の 励起 光 は シリカファイバ 1 1 の み を 励起 す る よう に、 シリカファイバ 1 1 の 励起 光 伝 搬 方 向 に 対 し て 後 段 に、 波 長  $\lambda 2$  の 励起 光 の み を 反 射 す る 反 射 素 子 で あ る ファイバグレーティング 1 2 を 設 置 し て い る。 シリカファイバ 1 1 を 出 射 し た 波 長  $\lambda 2$  の 励起 光 は ファイバグレーティング 1 2 で 高 反 射 率 で 反 射 さ れ、 再 び シリカファイバ 1 1 に 入 射 し て シリカファイバ 1 1 を 励起 す る。 一 方、 波 長  $\lambda 1$  の 励起 光 は シリカファイバ 1 1 で 励起 し、 シリカファイバ 1 1 で 損 失 を 受 け た 後、 テルライトファイバ 1 を 励起 す る。

## 【 0 0 4 9 】

図 2 の テルライトラマン増幅器 および シリカラマン増幅器 の 利 得 係 数 スペクトル を 考 慮 し て、  $\lambda 1$  および  $\lambda 2$  の 差 が、  $\lambda 2 - \lambda 1 = 25 \pm 15 \text{ nm}$ 、 すなわち、  $40 \text{ nm} > \lambda 2 - \lambda 1 > 10 \text{ nm}$ 、 で あ る よう に す る。 こ の と き、 テルライトラマン増幅器 の 利 得 スペクトル の 窪 み を シリカラマン増幅器 の 山 が 補 償 す る た め、 広 い 波 長 域 で 平 坦 な スペクトル が 得 ら れ る。 数 値 例 と し て は、  $\lambda 1 = 1450 \text{ nm}$ 、  $\lambda 2 = 1475 \text{ nm}$ 、 で あ る。 こ の と き、 波 長 域  $1460 \sim 1620 \text{ nm}$  で 平 坦 な スペクトル が 得 ら れ る。 ま た、 シリカファイバ と テルライトファイバ の 位 置 を 図 6 と 逆 に し、 ファイバグレーティング の 中 心 波 長 を  $\lambda 1$  と し て も 同 様 の 効 果 が あ る。

## 【 0 0 5 0 】

## 〔 第 4 実 施 例 〕

図 7 は、 本 発 明 の 第 4 実 施 例 の ラマン増幅器 の 構 成 を 示 し た 図 で、 第 3 実 施 例 と 類 似 し た 実 施 例 で あ る が、 以 下 の 点 が お も に 異 な る。 第 3 実 施 例 で は 励起 光 用 の 反 射 素 子 で あ る ファイバグレーティング を 設 置 し て い る が、 本 第 4 実 施 例 で は 用 い て い な い。 し た が っ て、 シリカファイバ 1 1 を 出 射 し た 2 波 長 の 励起 光 は と も に テルライトファイバ 1 に 入 射 し、 そ れ を 励起 す る。

## 【 0 0 5 1 】

図 2 のテルライトラマン増幅器およびシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルを考慮して、 $\lambda 1$  および  $\lambda 2$  の差が、 $\lambda 2 - \lambda 1 = 25 \pm 15 \text{ nm}$ 、すなわち、 $40 \text{ nm} > \lambda 2 - \lambda 1 > 10 \text{ nm}$ 、であるようにする。このとき、テルライトラマン増幅器の利得スペクトルの窪みをシリカラマン増幅器の山が補償するため、広い波長域で平坦なスペクトルが得られる。数値例としては、 $\lambda 1 = 1450 \text{ nm}$ 、 $\lambda 2 = 1475 \text{ nm}$ 、である。このとき、波長域  $1460 \sim 1620 \text{ nm}$  で平坦なスペクトルが得られる。

## 【 0 0 5 2 】

## 〔第 5 実施例〕

図 8 は、本発明の第 5 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第 4 実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。第 4 実施例では、シリカファイバおよびテルライトファイバを 1 個ずつ用いているが、本第 5 実施例では、複数個ずつ用いている。図 8 は 2 個ずつ用いた例であるが、個数は任意の個数でよい。

## 【 0 0 5 3 】

上述したように、複数個ずつのファイバを用いる理由は以下の通りである。すなわち、第 4 実施例においてはテルライトファイバにおける利得スペクトル窪み付近の波長における利得が小さい場合には、テルライトファイバの損失により、雑音指数が劣化する。一方、本実施例の構成では、テルライトファイバ 1 a, 1 b とシリカファイバ 1 1 a, 1 1 b を小刻みに配置しているため、その利得スペクトル窪みが小さくなり、雑音指数の劣化を低減できる。

## 【 0 0 5 4 】

## 〔第 6 実施例〕

図 9 は、本発明の第 6 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第 2 実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。第 2 実施例では、シリカファイバは伝送線路の外部（線形中継器 1 4 内や前置増幅器内など）に設置されたものであるが、本実施例では、シリカファイバ 1 3 a, 1 3 b は伝送線路そのものを用いている。その伝送線路であるシリカファイバ 1 3 a, 1 3 b は、一般

に低損失係数を有する分散シフトファイバ (DSF) や  $1.3\ \mu\text{m}$  シングルモードファイバなどである。伝送線路中でラマン増幅を分布的に行うため、分布増幅による信号対雑音比の向上が、分布利得が大きい波長域で生じる。

## 【 0 0 5 5 】

したがって、テルライトファイバ 1 における利得スペクトル窪み付近の波長における雑音指数劣化の抑圧が容易かつ顕著に行なえる。また、分布利得が大きい波長域で、特に大きな光信号対雑音比が得られた場合には、その波長域を伝送線路のゼロ分散波長に設定できるという利点がある。

## 【 0 0 5 6 】

図 2 のテルライトラマン増幅器およびシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルを考慮して、 $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  の差が、 $\lambda_2 - \lambda_1 = 25 \pm 15\ \text{nm}$ 、すなわち、 $40\ \text{nm} > \lambda_2 - \lambda_1 > 10\ \text{nm}$ 、であるようにする。このとき、テルライトラマン増幅器の利得スペクトルの窪みをシリカラマン増幅器の山が補償するため、広い波長域で平坦なスペクトルが得られる。

## 【 0 0 5 7 】

数値例としては、 $\lambda_1 = 1450\ \text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 1475\ \text{nm}$ 、である。このとき、波長域  $1460 \sim 1620\ \text{nm}$  で平坦なスペクトルが得られる。また、別の数値例としては、伝送線路のシリカファイバとして DSF を用いた場合、 $\lambda_1 = 1420\ \text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 1445\ \text{nm}$ 、である。このとき、波長域  $1430 \sim 1590\ \text{nm}$  で平坦なスペクトルが得られる。さらに、ゼロ分散波長  $1550\ \text{nm}$  付近において高い光信号対雑音比が得られ、非線形効果による伝送品質の劣化の抑圧が行なえる。

## 【 0 0 5 8 】

## 〔第 7 実施例〕

図 10 は、本発明の第 7 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第 1 実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。第 1 実施例はテルライトファイバを 1 個用いた 1 段増幅構成を用いているが、本第 7 実施例はテルライトファイバ 1 a、1 b を 2 個用い、それらの中間に利得等化器 15 を用いた 2 段増幅構成を用いている。利得等化器 15 を前記中間位置に設置するのは、ラマン

増幅器の出力パワーを高く保つためである。ただし、前記出力パワーを高く保つ必要がない場合には、利得等化器 1 5 をラマン増幅器の後段に設置してよい。明らかにそのときの配置は、第 1 実施例のラマン増幅器の後段に前記利得等化器 1 5 を配置したものであり、テルライトファイバの個数は 2 個である。

## 【 0 0 5 9 】

利得等化器の透過損失スペクトル特性は、例えば、図 4 の利得スペクトルを考慮して決定される。例えば、図 4 ( a ) の利得スペクトルに対しては、透過損失スペクトルのピーク波長が約 1 5 6 0 n m , 透過損失スペクトルの半値幅が約 2 0 n m のガウス型形状の透過損失スペクトルを有する利得等化器により、約 1 5 0 0 - 1 6 5 0 n m の波長域において大まかな利得等化を簡単に行なえる。

## 【 0 0 6 0 】

また、本実施例では、ラマン増幅器の構成が簡易であり、かつ価格が低廉であるように、1 個の励起光源からの励起光を分波器 1 6 を用いて分波し、前記 2 個のテルライトファイバ 1 a , 1 b に分配している。

## 【 0 0 6 1 】

## [ 第 8 実施例 ]

図 1 1 は、本発明の第 8 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、テルライトファイバ 1、エルビウム ( E r ) 添加ファイバ 2 1、2 個の励起光源 5 a , 5 b ( L D M - 1、L D M - 2 )、および 2 個の合波器 2 , 6 を有する。L D M - 1 の励起光波長は約 1 4 3 0 n m、L D M - 2 の励起光波長は約 1 4 8 0 n m である。E r 添加ファイバの種類は、E r 添加テルライトファイバ、E r 添加フッ化物ファイバ、E r 添加シリカファイバなどである。E r 添加ファイバの利得は大まかに捉えて 1 5 3 0 ~ 1 5 7 0 n m にスペクトルの山がある。一方、約 1 4 3 0 n m の励起光で励起されたテルライトファイバは、図 2 ( a ) より、1 5 3 0 ~ 1 5 7 0 n m に利得スペクトルの窪みを有する。したがって、本実施例の構成により、約 1 5 2 0 ~ 1 6 0 0 n m の波長域において平坦な利得スペクトルが得られる。

## 【 0 0 6 2 】

## [ 第 9 実施例 ]

図 1 2 は、本発明の第 9 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、その利得スペクトル特性は前記第 8 実施例と類似しているが、下記の構成がおもに異なる。すなわち、本ラマン増幅器は、低濃度に  $E_r$  を添加したテルライトファイバ 4 1（低濃度  $E_r$  添加テルライトファイバ）、励起光源 5（LDM）、および合波器 2 を有する。励起光波長は約 1 4 3 0 nm である。前記低濃度  $E_r$  添加テルライトファイバは、 $E_r$  イオンの利得と、ラマン利得を同じに有する。ただし、 $E_r$  イオンは約 1 4 3 0 nm の励起光で励起可能であり、第 8 実施例とは若干異なるが、やはり、その利得は大まかに捉えて 1 5 3 0 ~ 1 5 7 0 nm にスペクトルの山がある。したがって、本実施例の構成により、第 8 実施例と同様に、約 1 5 2 0 ~ 1 6 0 0 nm の波長域において平坦な利得スペクトルが得られる。

## 【 0 0 6 3 】

## 〔第 1 0 実施例〕

図 1 3 は、本発明の第 1 0 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、前記第 8 実施例と類似しているが、下記の点がおもに異なる。すなわち、本ラマン増幅器では、ラマン増幅器と組み合わせる希土類添加ファイバとしてツリウム（Tm）添加フッ化物ファイバ 3 1 を用いている。テルライトファイバ 1 の励起波長は 1 4 5 0 nm、Tm 添加フッ化物ファイバ 3 1 の励起波長は 1 4 0 0 nm である。Tm 添加フッ化物ファイバの利得波長域は約 1 4 6 0 ~ 1 5 1 0 nm であり、その長波長側では、上位準位吸収により損失が生じる。そこで、分波器 1 6 と合波器 4 を用いて、約 1 4 6 0 ~ 1 5 1 0 nm の信号光と約 1 5 1 5 ~ 1 6 2 0 nm の信号光を分離する。そして、約 1 5 1 5 ~ 1 6 2 0 nm の信号光の通過ルートに対して、分波器と合波器は損失の無視できる光ファイバで結合されている。ただし、1 5 1 0 ~ 1 5 1 5 nm の波長域は分波器および合波器のデッドバンドである。

## 【 0 0 6 4 】

図 2（a）のスペクトルおよび既知の Tm 添加フッ化物ファイバの利得スペクトルから、本ラマン増幅器の利得スペクトルは、大まかに言って、約 1 4 6 0 ~ 1 6 2 0 nm の波長域において平坦な利得スペクトルを有する。

## 【 0 0 6 5 】

## 〔第 1 1 実施例〕

図 1 4 は、本発明の第 1 1 実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、前記第 1 3 実施例と類似しているが、下記の点がおもに異なる。すなわち、本ラマン増幅器では、そして、約 1 5 1 5 ~ 1 6 2 0 n m の信号光の通過ルートに対して、分波器 1 6 と合波器 4 の間にラマン増幅の利得媒質であるシリカファイバ ( D C F ) 1 1 を設置している。そのシリカファイバ 1 1 は励起光源 5 c ( L D M - 3 ) 1 4 8 0 n m の励起光で励起されている。なお、符号 5 c は励起光源 ( L D M - 3 ) である。したがって、本ラマン増幅器の初段のテルライトファイバ 1 の利得の窪みが、前記第 2 実施例と同様の機構により平坦化される。その結果、第 1 3 実施例よりも平坦な利得スペクトルが約 1 4 6 0 ~ 1 6 2 0 n m の波長域において得られる。

## 【 0 0 6 6 】

なお、テルライトファイバを 2 波長で励起して平坦利得域の拡大が達成できるのは、前述のように、励起光波長の差を 3 0 n m ~ 7 0 n m としたときであるが、この波長差としては 3 5 n m ~ 6 0 n m の範囲がより好適で、4 0 n m ~ 5 0 n m の範囲であれば最も望ましい。

## 【 0 0 6 7 】

また、テルライトファイバとシリカファイバをそれぞれ異なる波長  $\lambda_1$  ,  $\lambda_2$  で励起して平坦利得域の拡大が達成できるのは、前述のように、波長差  $\lambda_2 - \lambda_1$  を 1 0 n m ~ 4 0 n m としたときであるが、この波長差としては 1 5 n m ~ 3 5 n m の範囲がより好適で、2 0 n m ~ 3 0 n m の範囲であれば最も望ましい。

## 【 0 0 6 8 】

## 【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、光信号増幅の利得スペクトルが増幅媒体によって異なることに着目して、複数波長の励起光と複数種の光ファイバ増幅媒体とを次の 4 種類、つまり、1) テルライトファイバを 2 波長で励起する、2) テルライトファイバとシリカファイバをそれぞれ異なる波長で励起する、3) E r を低濃度に添加したテルライトファイバを 1 つ又は 2 つの波長で励起する、4

）テルライトファイバとTm添加ファイバを異なる波長で励起する、を組み合わせることにより光ファイバ増幅器を構成したので、異なる利得スペクトルの合成により利得帯域幅が拡大されるという効果を奏する。また、従来技術のラマン増幅器で問題であった利得帯域が制限されているという欠点を解決することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

従来技術のラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 2】

ラマン増幅器の利得係数スペクトルを示す図で、（a）はテルライトラマン増幅器の利得係数スペクトルを、（b）はシリカライト増幅器の利得係数スペクトルをそれぞれ示す図である。

【図 3】

本発明の第 1 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 4】

テルライトラマン増幅器の利得係数スペクトルを示す図で、（a）は、 $\lambda_1 = 1460\text{ nm}$  および  $\lambda_1 = 1410\text{ nm}$  としたときの利得（dB 単位の相対値）スペクトルを、（b）は、 $\lambda_1 = 1460\text{ nm}$  および  $\lambda_1 = 1420\text{ nm}$  としたときの利得（dB 単位の相対値）スペクトルをそれぞれ示した図である。

【図 5】

本発明の第 2 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 6】

本発明の第 3 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 7】

本発明の第 4 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 8】

本発明の第 5 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 9】

本発明の第 6 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。



【図 1 0】

本発明の第 7 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 1 1】

本発明の第 8 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 1 2】

本発明の第 9 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 1 3】

本発明の第 1 0 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図 1 4】

図 1 4 は、本発明の第 1 1 実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

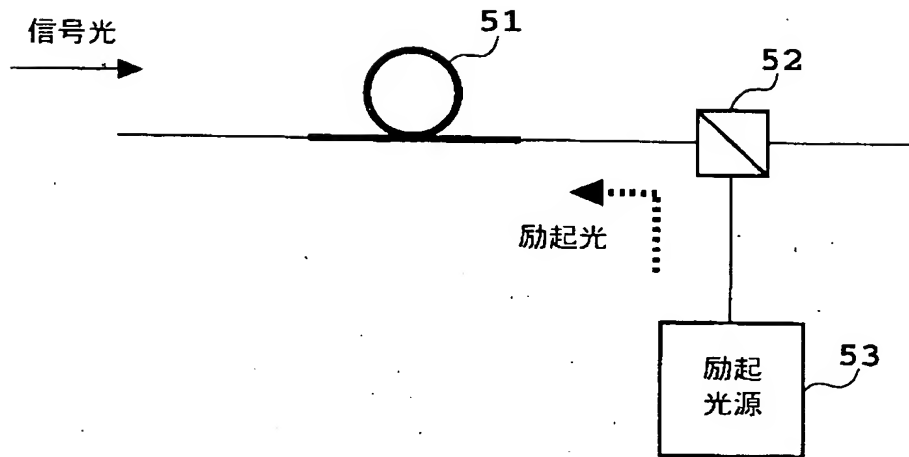
【符号の説明】

- 1, 1 a, 1 b    テルライトファイバ
- 2, 2 a, 2 b, 2 c, 4, 6    合波器
- 3    励起光源
- 5 a, 5 b, 5 c    半導体レーザモジュール (LDM)
- 1 1, 1 1 a, 1 1 b    シリカファイバ
- 1 2    ファイバグレーティング
- 1 3 a, 1 3 b    伝送線路シリカファイバ
- 1 4    線形中継器
- 1 5    利得等価器
- 1 6    分波器
- 2 1    E r 添加ファイバ
- 3 1    T m 添加フッ化物ファイバ
- 5 1    光ファイバ
- 5 2    合波器
- 5 3    励起光源

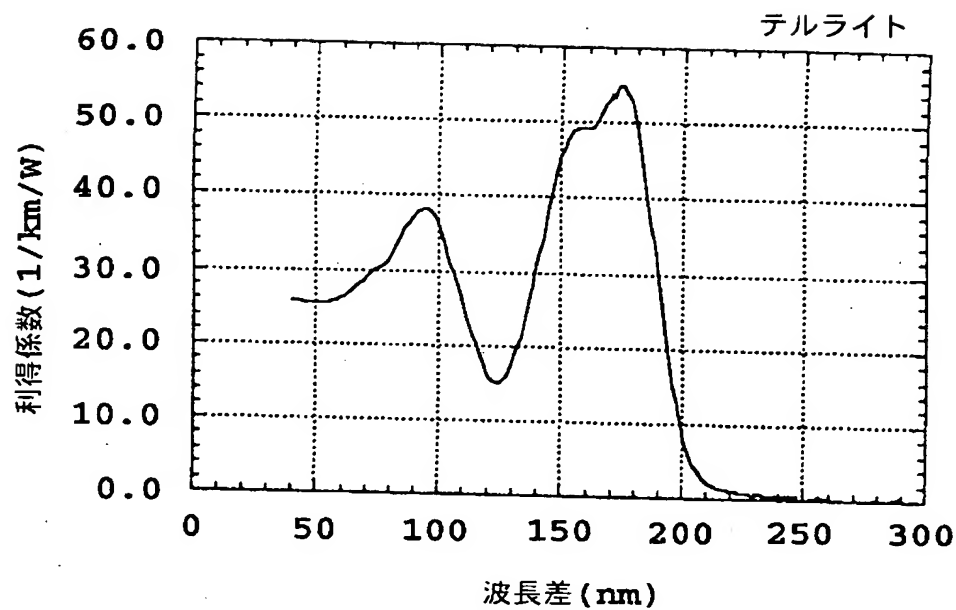
【書類名】

図面

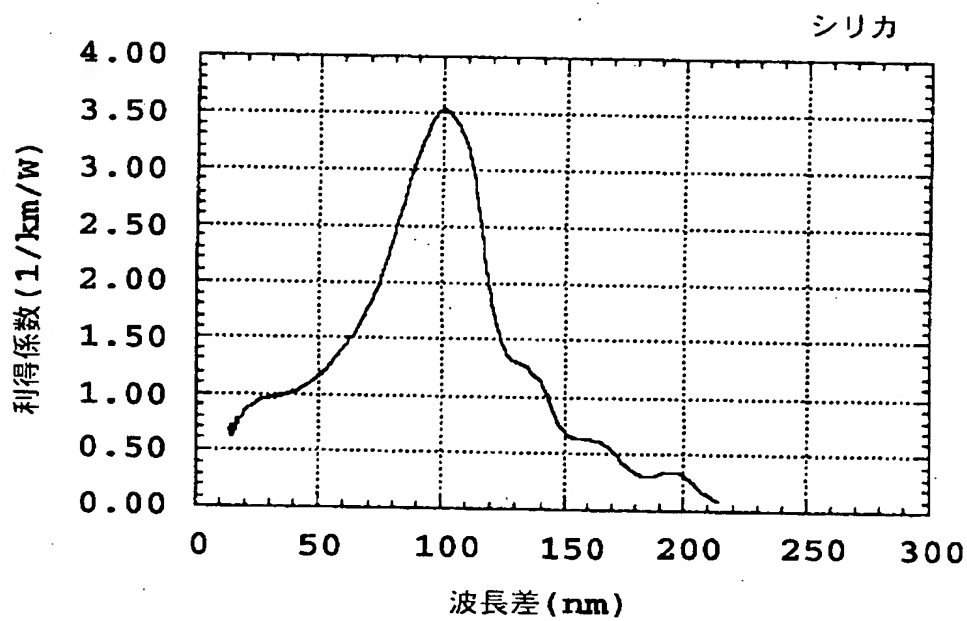
【図 1】



【図2】

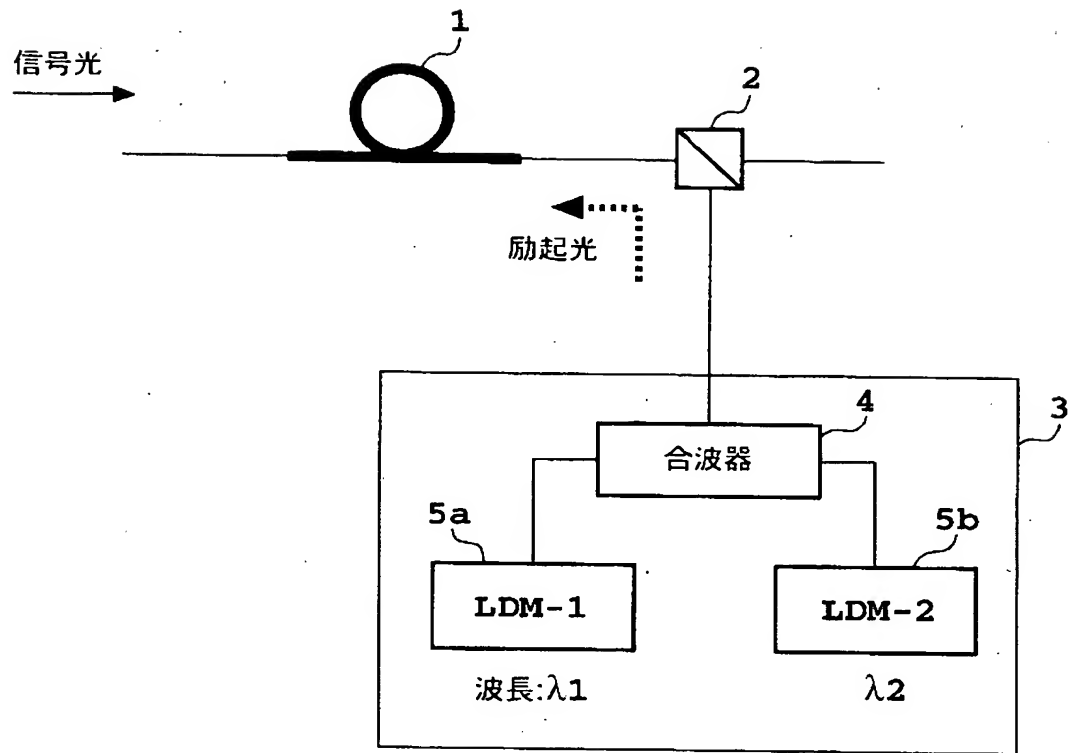


(a)

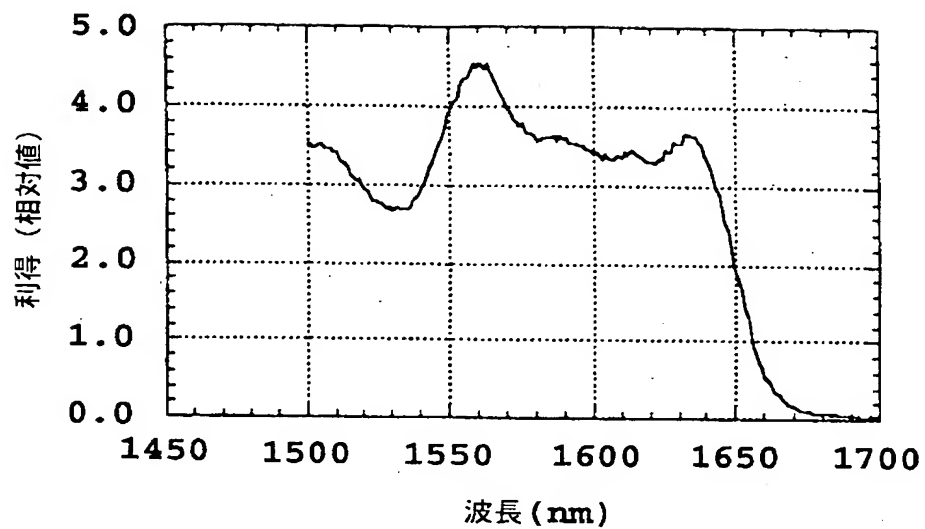


(b)

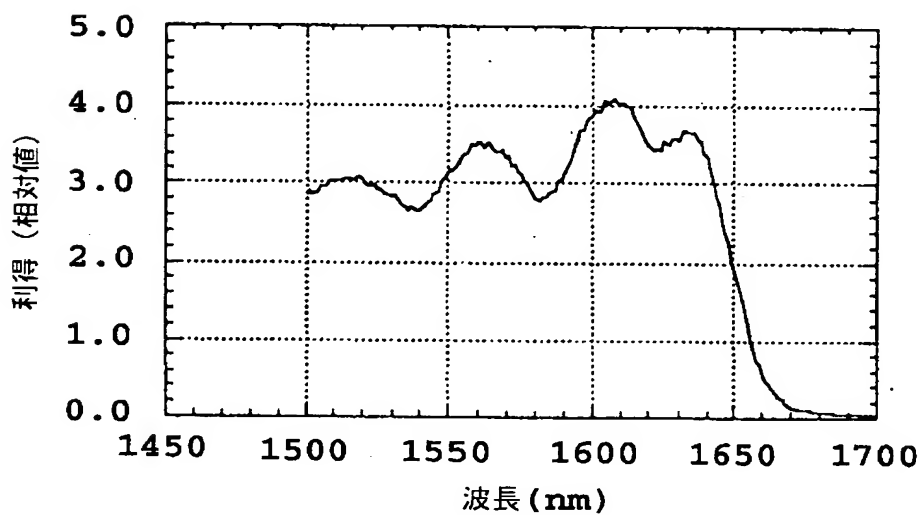
【図3】



【図4】

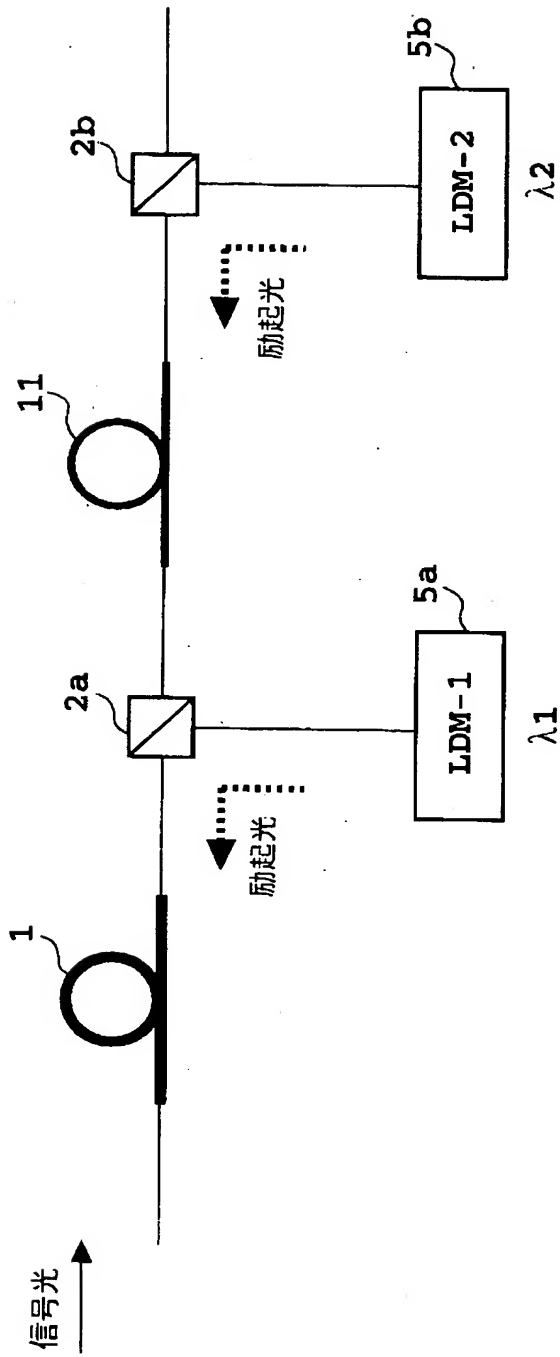


(a)

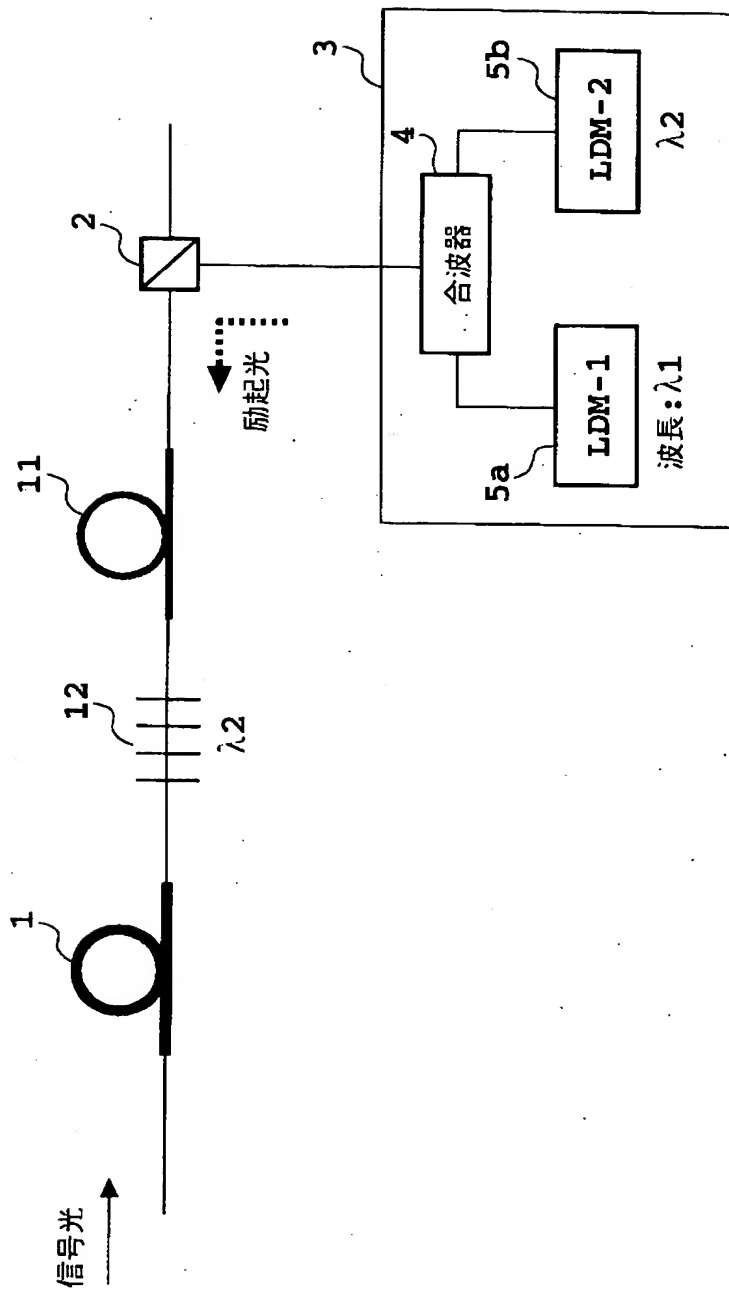


(b)

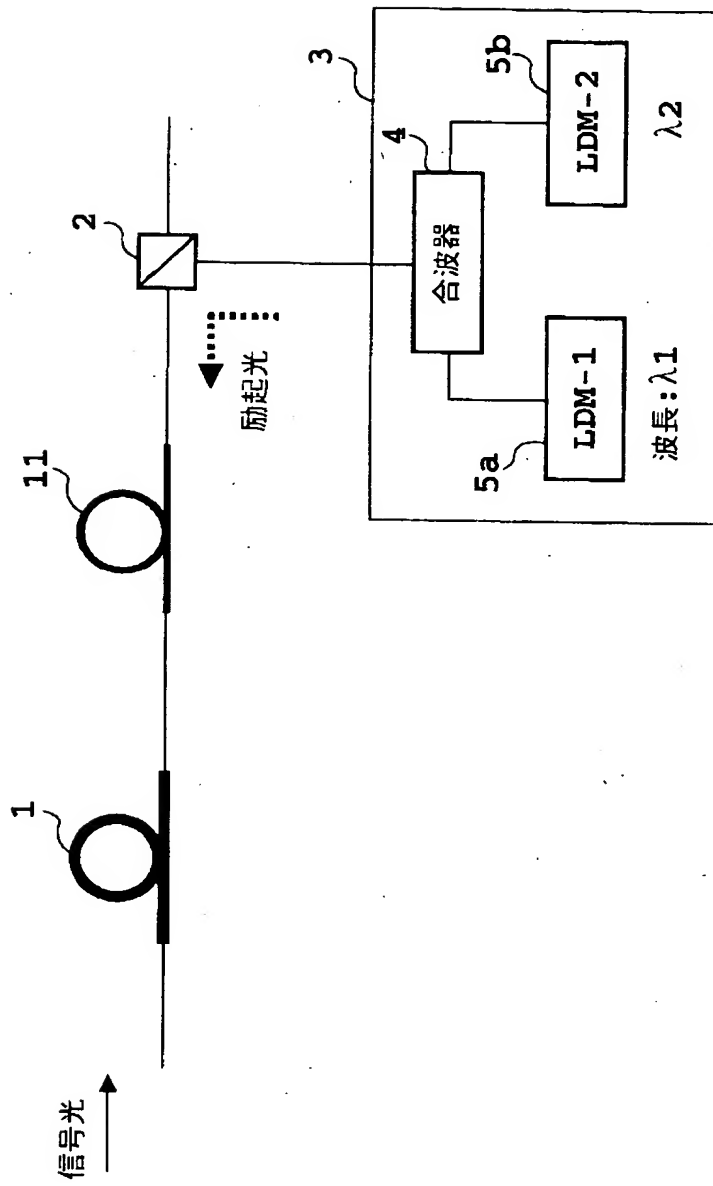
【図 5】



【図6】

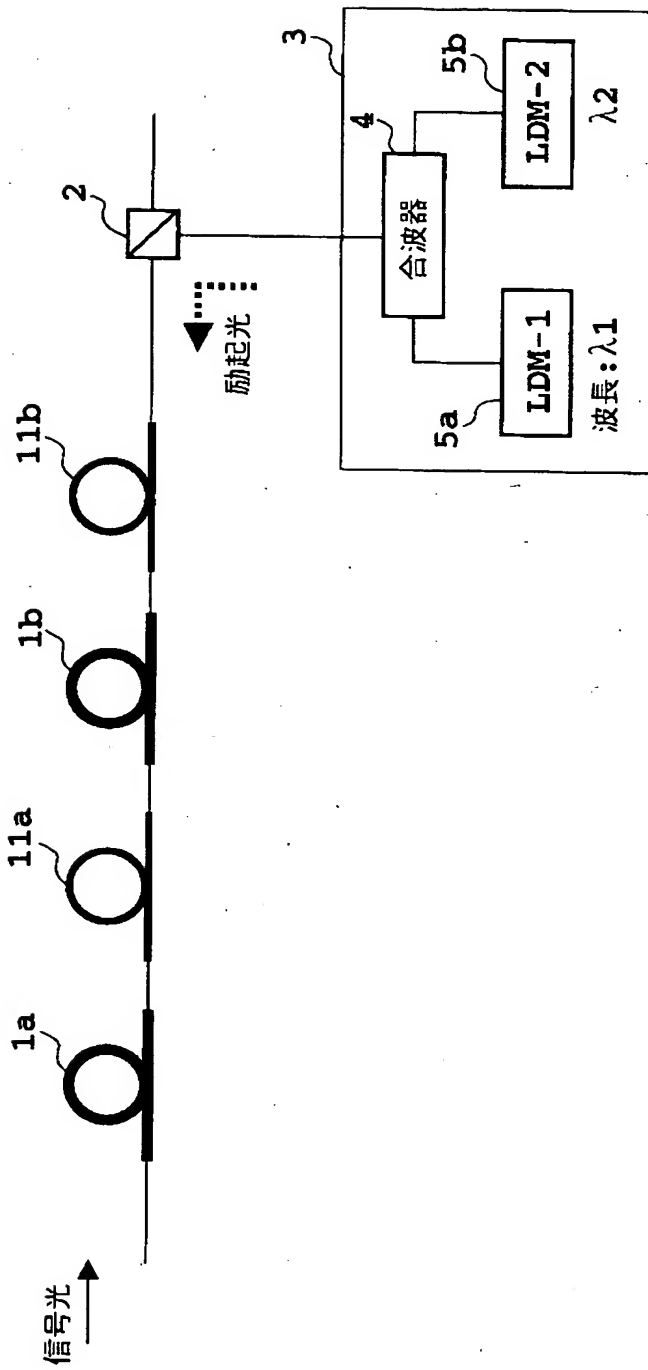


【図 7】

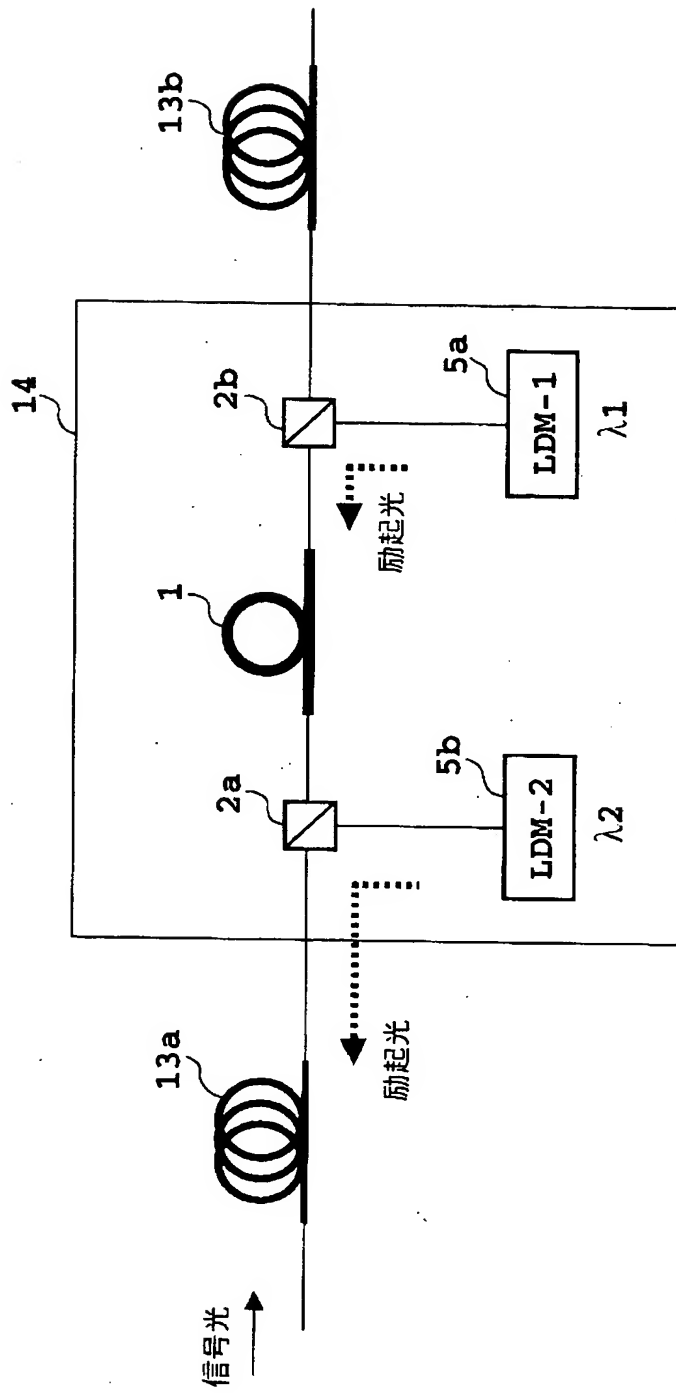




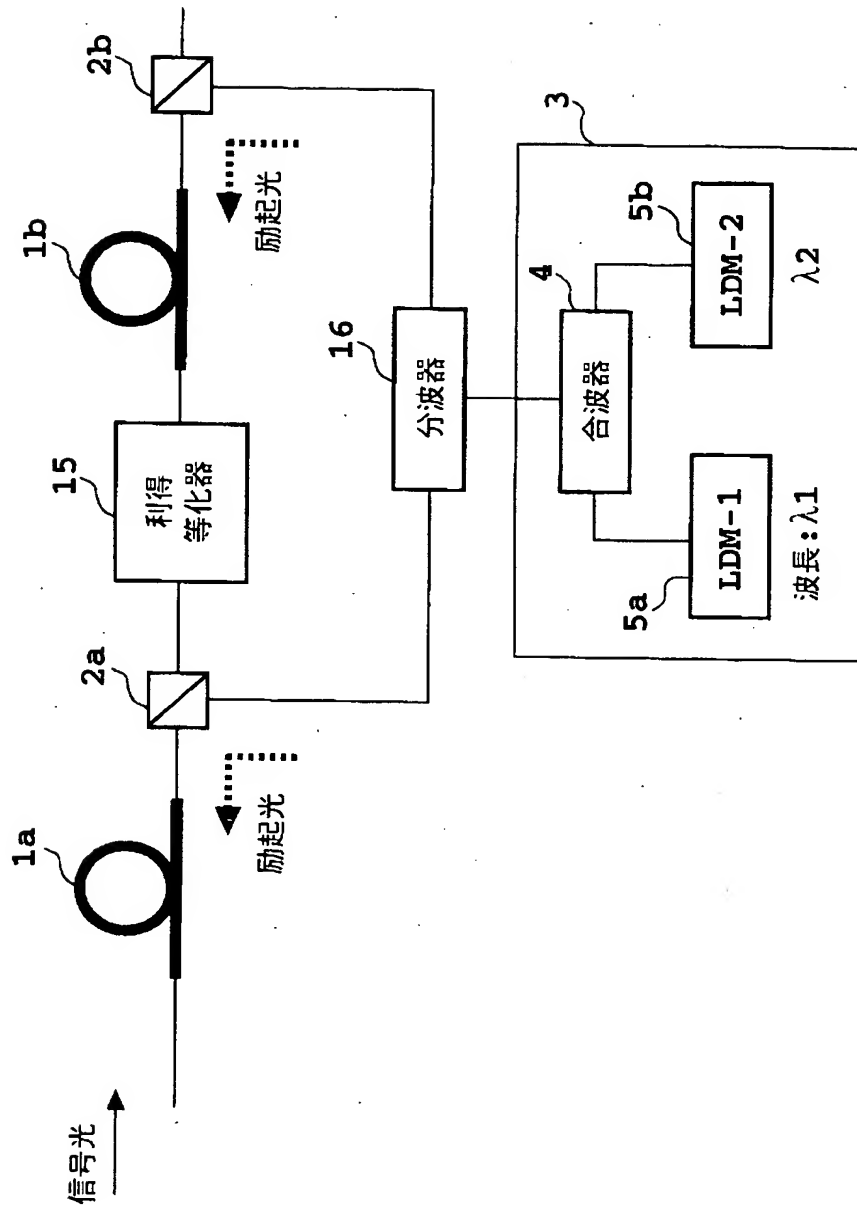
【图 8】



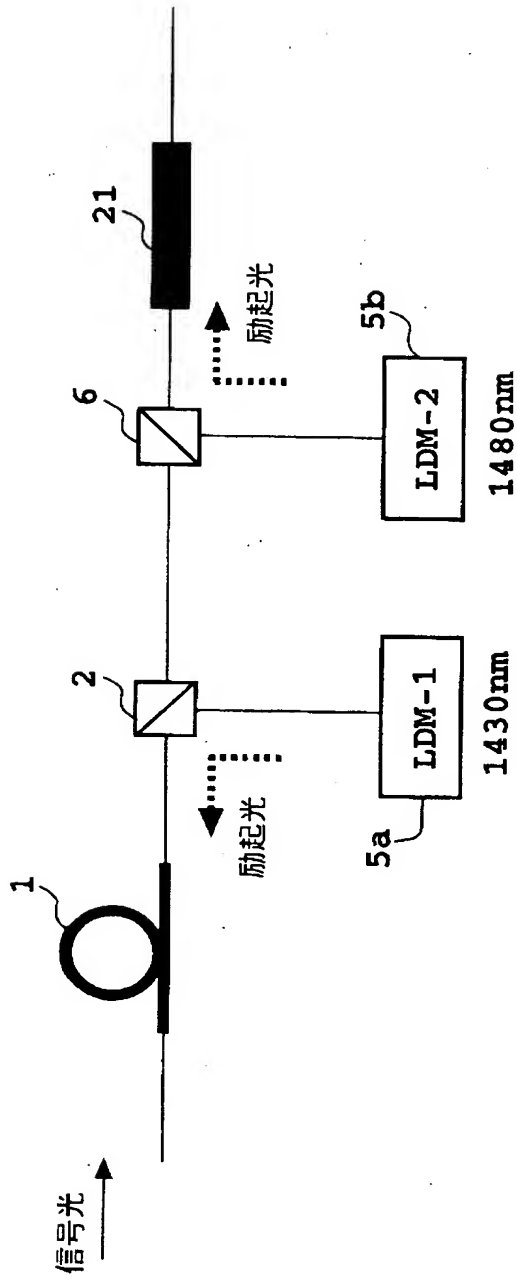
【図9】



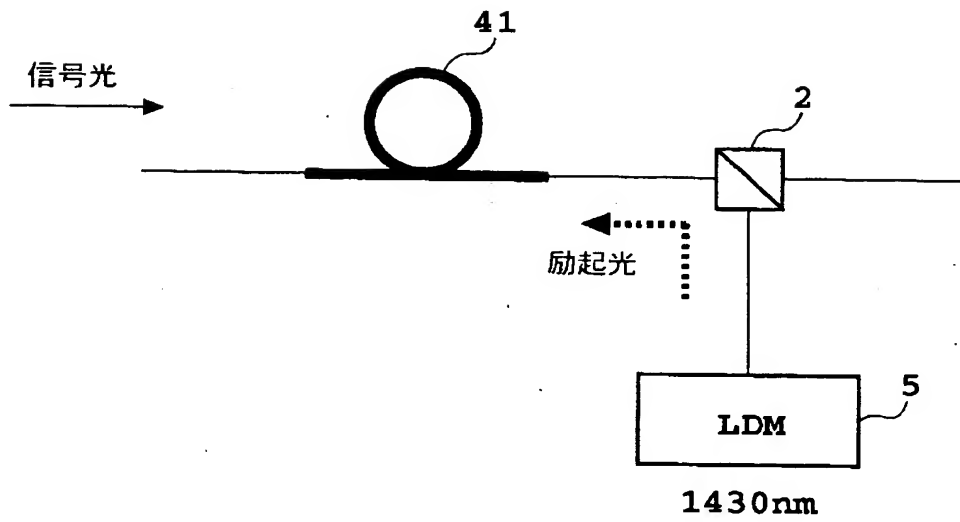
【図10】



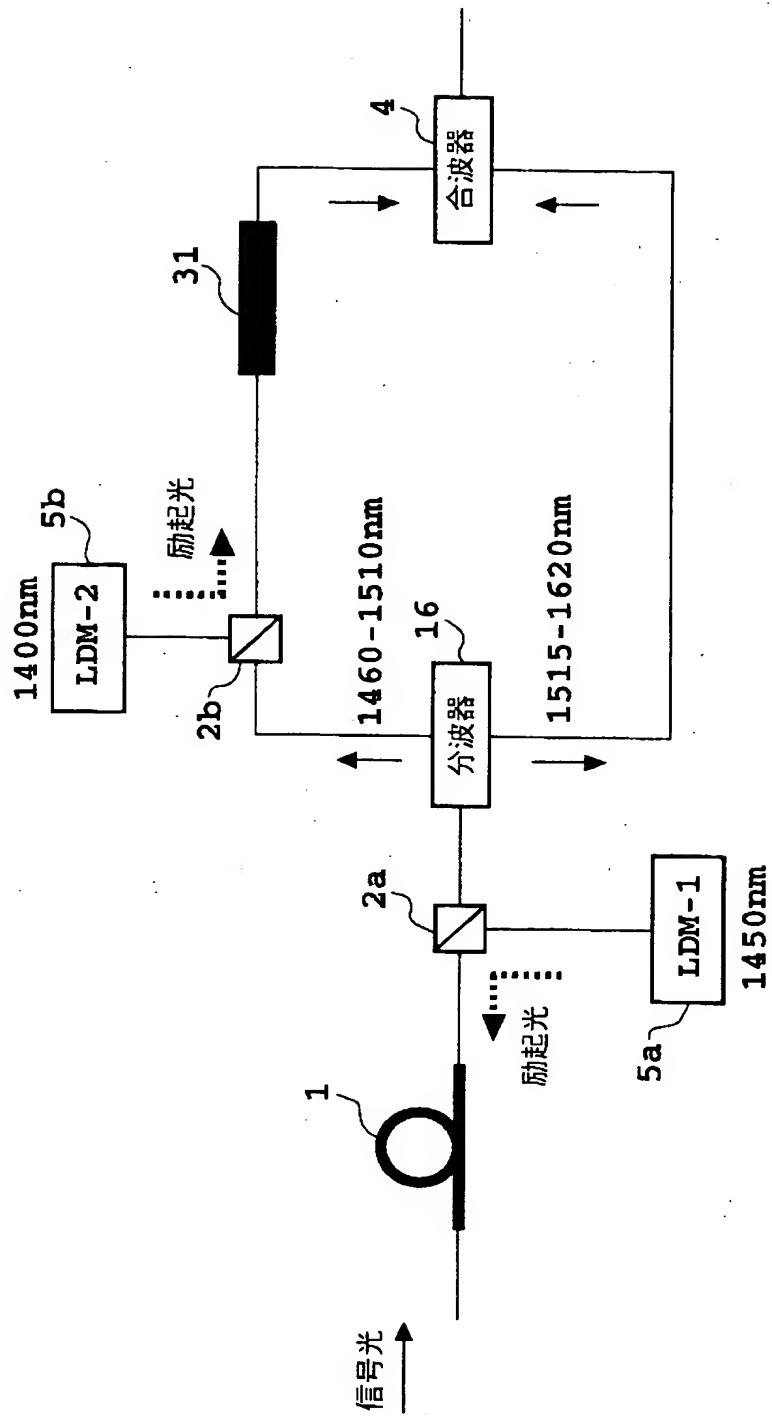
【図 11】



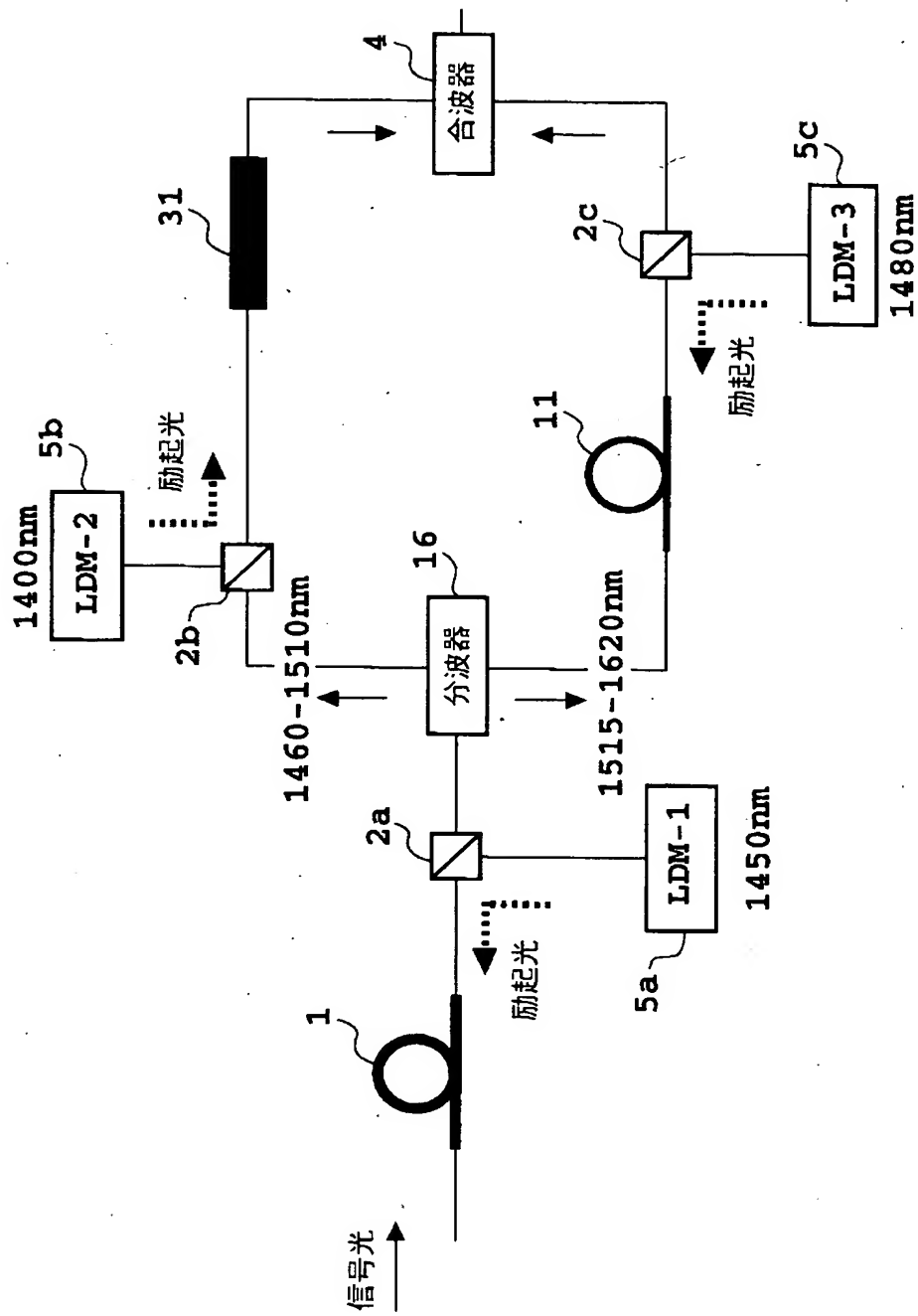
【図12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    複数の利得スペクトルを組み合わせて重ね合わせるにより、広帯域で平坦な利得スペクトルを実現すること。

【解決手段】    利得媒質である光ファイバはテルライトファイバ 1 である。励起光源 3 は 2 つのレーザモジュール 5 a, 5 b と 1 つの合波器 4 を有する。

2 つの LDM 5 a, 5 b を LDM-1 および-2 とし、それらの励起光波長をそれぞれ  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  とする。 $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  の差を約 50 nm に設定すると、 $\lambda_1$  の励起光による利得スペクトル成分と、 $\lambda_2$  の励起光による利得スペクトル成分を合成することにより、利得ピークとくぼみの合成により、平坦化された利得スペクトルが得られる。その波長差に対応した 2 つの励起光の波数差は約  $125 - 290 \text{ cm}^{-1}$  (カイザー) である。

【選択図】            図 3



出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
氏 名 日本電信電話株式会社